

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Меркушев Алексей Геннадьевич, Быстров Михаил Викторович

Руководитель – проф., д.т.н. Мысик Р.К.

ОАО Урал НИТИ, г. Екатеринбург

ptlp@uralniti.ru

Результаты исследования по влиянию давления газовой среды при кристаллизации на блочную структуру монокристаллов чистого алюминия показали, что при кристаллизации в условиях избыточного давления инертной газовой среды происходит сильное измельчение субструктуры монокристаллов и увеличения в них плотности дислокаций. По сравнению с монокристаллами, выращенными при атмосферном давлении. Обнаруженные эффекты влияния избыточного давления на субструктуру и плотность дислокаций в монокристаллах чистого алюминия невозможно объяснить в рамках существующих представлений о влиянии избыточного давления на процесс кристаллизации металлических расплавов. Ни за счет увеличения скорости затвердевания, поскольку этот параметр процесса в проведенных экспериментах поддерживался постоянным, ни за счет изменения теплового поля в кристаллизующейся системе, т.к. теплопроводность среды при увеличении давления газа на одну атмосферу практически не меняется. В условиях проведенных экспериментов мы сталкиваемся с чистым эффектом влияния давления непосредственно на процесс фазового перехода. Механизм влияния давления газовой среды при кристаллизации на процесс фазового перехода пока не ясен и связан, по всей видимости, с изменением кинетики атомных обменных процессов на межфазной границе. Для выяснения этого механизма необходимо дальнейшее исследование экспериментальных данных, в том числе проведение экспериментов еще раз подтверждающих существование обнаруженного эффекта.

На первом этапе работы запланировано провести исследование влияния избыточного давления на плотность дислокаций и механические свойства монокристаллов чистого алюминия.

Описание эксперимента.

1. Выращивание кристаллов.

Выращивание монокристаллов алюминия производилось методом Бриджмана на вакуумной установке, переконструированной для возможности проведения опытов по кристаллизации в инертной атмосфере и под избыточным давлением газовой среды. Графитовый тигель с кристаллом, установленный вертикально помещался в кварцевую трубу, герметично закрепленную в держателе, которая заполнялась гелием. Монокристаллы выращивались на одинаковых затравку, имеющих

одинаковую кристаллографическую ориентацию в направлении перемещения межфазной границы. В настоящей работе с целью повышения стабильности тепловых условий процесса выращивания кристаллов, была изменена система охлаждения кристалла. Схема приведена на рис. 1.

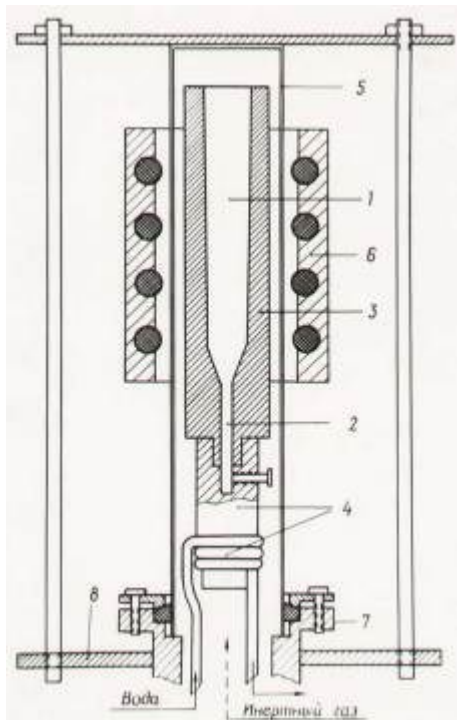


Рисунок 1. Схема установки для выращивания монокристаллов:

- 1 – образец; 2 – затравка;
- 3 – графитовый тигель;
- 4 – система охлаждения кристалла;
- 5 – кварцевая трубка; 6 – плавильная печь;
- 7 – крепление кристаллизационной камеры;
- 8 – монтажная плита

Отвод тепла осуществлялся через нерасплавленную часть затравки, соединенную непосредственно с водоохлаждаемым медным цилиндром. Таким образом был обеспечен надежный тепловой контакт между кристаллом и холодильником, исключено влияние таких

трудноконтролируемых факторов, как толщина тигля и зазор между затравкой и дном тигля, которые вносили ошибку в результаты исследований. Рост кристаллов осуществлялся в атмосфере гелия при давлении 1 и 2,5 атмосферы при скорости перемещения плавильной печи 4 мм/мин. Температурный градиент составлял 20 град/см., максимальная температура расплава поддерживалась равной 720 °С. Кривая распределения температуры по длине расплавленного образца приведена на рис. 2.

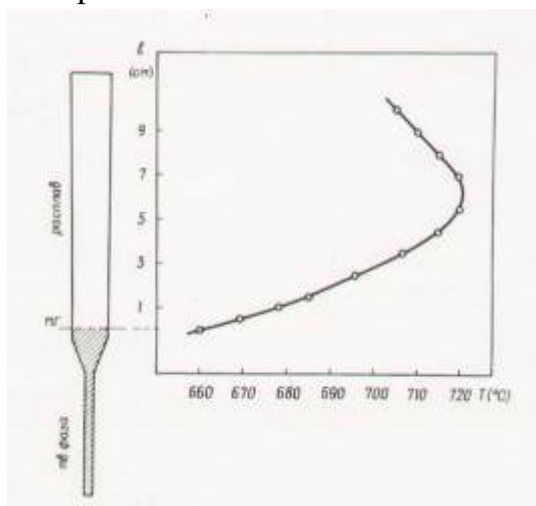


Рисунок 2. Распределение температуры в расплаве

Условия нагрева и охлаждения образцов поддерживались постоянными. При указанных внешних параметрах процесса выращивания монокристаллов поверхность фронта кристаллизации была близка по форме к плоской.

Для исследований использовался

чистый алюминий марки А999 с остаточным электросопротивлением $0,9 \times 10^{-10}$ Ом×см. Монокристаллы имеют длину 120 мм, и диаметр 18 мм.

2. Определение плотности дислокаций.

Плотность дислокаций определялась металлографически по фигурам травления на шлифах, параллельных поверхности фронта кристаллизации. Все исследования проводились на участках образцов, находившихся на одинаковом расстоянии от затравки (100 мм) и расположенных ближе к концу кристалла.

Шлифы вырезались из монокристаллов на электроискровом станке, затем подвергались химическому травлению и электрополировке для удаления деформированного в процессе электроискровой резки слоя. Картины травления одних и тех же образцов хорошо воспроизводились после неоднократных переполіровок шлифов, в процессе которых каждый раз растворялся слой металла порядка 0,5 мм. Усреднение плотности дислокаций для каждого образца проводились по двадцати полям. Разброс результатов при этом составлял не более 10 %. При использовавшейся в работе стабилизации тепловых условий значения плотности дислокаций на разных образцах одной ориентации, полученных при одинаковом значении давления газовой среды, различались не более, чем на 30...35 %.

3. Проведение экспериментов.

Образцы длиной 44 мм имели рабочую длину 27 мм и монтировались в специальном устройстве в захваты, помещаемые в специальной держалке для того, чтобы при установке образца вместе с захватами в машину монокристалл не был деформирован.

Затем в зеркальную камеру вставлялась кассета с фотопластинкой, и начиналось проведение эксперимента. Проявление пластинки проводилось в стандартном проявителе и закрепление в обычном фиксаторе.

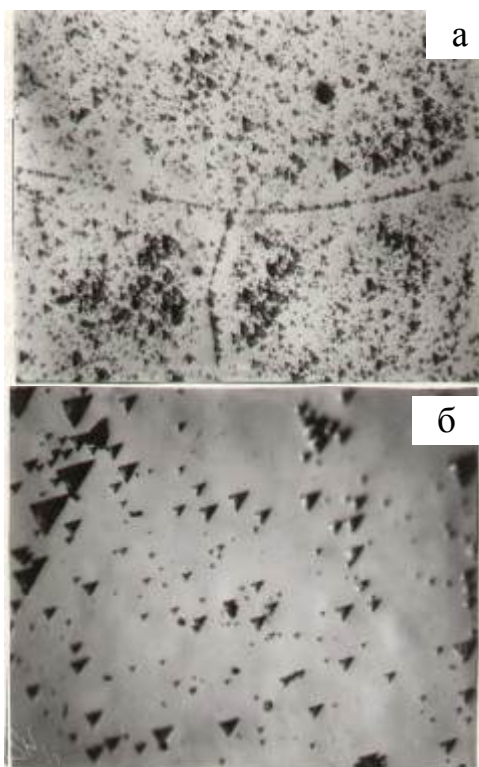


Рисунок 4. Распределение фигур травления в поперечном сечении монокристаллов алюминия с плотностью дислокаций $3,8 \times 10^6 \text{ см}^{-2}$ (а) и $9,3 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$ (б)

Результаты.

При изложенных выше условия выращивания монокристаллов изменяется только один из внешних параметров процесса кристаллизации давления газовой среды. Остальные параметры, такие как температурные градиенты, скорость перемещения печи, условия

нагрева и охлаждения образцов и др., оставались неизменными.

Монокристаллы алюминия были выращены при давлении 1 и 2,5 атмосферы. На рис. 4 приведены типичные микрофотографии поперечных шлифов монокристаллов алюминия, полученных при давлении 1 атм. (рис. 4,а) и при давлении 2,5 атм. (рис. 4,б).

Из фотографий следует, что плотность дислокаций в образцах, выращенных при атмосферном давлении, гораздо меньше чем в образцах, выращенных при давлении газовой среды 2,5 атм. Подсчет ямок травления дает следующие значения плотности дислокаций: $9,3 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$ и $3,8 \times 10^6 \text{ см}^{-2}$ для образцов, выращенных при давлении газа 1 и 2,5 атмосферы, соответственно. Таким образом, проведенные исследования показали еще раз, что увеличение давления газовой среды при кристаллизации приводит к существенному увеличению плотности дислокаций в выращиваемых монокристаллах.

При определении механических свойств были получены следующие результаты.

Таблица 1. Окончательные средние величины

	Монокристалл № 39	Монокристалл № 42 нетравленный
Предел текучести, кг/мм ²	1,74	2,11
Предел прочности, кг/мм ²	6,79	7,01
Относительное удлинение, %	23,60	23,59

Всего было испытано по 10 образцов каждого из монокристаллов № 42 и № 39. Монокристалл № 42 испытывался как в нетравленном виде. Для испытаний были выбраны 2 кристалла с разной плотностью дислокаций: № 42 ($9,3 \times 10^4 \text{ см}^{-2}$) и монокристалл № 39 ($3,8 \times 10^6 \text{ см}^{-2}$).

Различие в плотности дислокаций в первую очередь должно сказаться на пределе текучести. Результаты проведенных экспериментов показали, что различие в пределах текучести составляет $2,11 - 1,74 = 0,37 \text{ кг/мм}^2$. Различие очень не большое, но может быть объяснено разницей в плотностях дислокаций, т.к. нетравленные образцы монокристалла № 42 (напряженные при изготовлении и поэтому имеющие очень большую плотность дислокаций на поверхности) имеют большую величину предела текучести равную 2,11 кг/мм². Различий в пределе прочности и относительном удлинении не обнаружено.